



Le Fromage de chamelle : une révolution technologique et culturelle ?

The camel cheese: a technological and cultural revolution?

Gaukhar Konuspayeva¹, Bernard Faye²

¹ Université Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

² CIRAD-ES, UMR SELMET (France)

konuspayevags@homail.fr

Résumé : Traditionnellement, le lait de chamelle n'est pas transformé en fromage du fait de ses propriétés qui rend sa coagulation difficile, notamment en utilisant la présure bovine classique. Sa faible concentration en caséine- κ en est la principale explication (3% seulement contre 13% dans le lait de vache). Aussi, la plupart des recherches depuis les années 80 se sont donc concentrées sur l'amélioration de l'obtention d'un coagulum, parfois en utilisant divers produits végétaux ou des extraits de la caillette du chamelon, mais les rendements ont toujours été assez faibles. L'arrivée sur le marché du chy-max –M1000®, Ch. Hansen®, obtenu par génie génétique a changé la donne et a résolu le problème de la coagulation. Mais ce qui reste à faire est sans doute d'une autre nature, car il s'agit : (i) de bien comprendre le « comportement » du lait de chamelle lors des processus de transformation fromagère, ce qui implique encore de nombreuses études fondamentales, (ii) de développer des produits adaptés aux consommateurs locaux, à leur goût et à leurs habitudes alimentaires, (iii) de mettre en place les mécanismes de diffusion de la technologie à une échelle semi-industrielle ou industrielle pour atteindre le plus grand nombre et sortir d'une certaine marginalité du produit. La présente communication fait part de notre expérience en Arabie Saoudite et des écueils auxquels nous avons été confrontés, en termes de mise au point technologique, de satisfaction culturelle et de commercialisation.

Abstract : Traditionally, camel milk is not processed into cheese because of its properties which makes its coagulation difficult, particularly by using classic bovine rennet. Its low concentration in casein- κ is the main explanation (only 3% compared to 13% in cow's milk). Therefore, most of the research since the years 80 were concentrated on improving coagulation, sometimes using various plant products or extracts of the baby camel stomach, but the yields obtained were always quite Low. The arrival on the market of the CHY-Max – M1000®, ch. Hansen ©, obtained by genetic engineering has changed the situation and solved the problem of coagulation. However, what remains to be done is undoubtedly of another nature, because it is: (I) to understand well the "behavior" of camel milk during cheese processing, which still implies many fundamental studies, (ii) to develop products adapted to local consumers, their taste and their food habits, (iii) to put in place the mechanisms of diffusion of technology at semi-industrial or industrial scale to reach a largest number of consumers and put off camel cheese from its marginality. This communication presents our experience in Saudi Arabia and the constraints we faced in terms of technological development, cultural satisfaction and commercialization.

Introduction

Il n'a jamais existé de fromage de chamelle « traditionnel ». Consommé sous forme cru ou fermenté, le lait de chamelle s'est beaucoup moins prêté au cours de l'Histoire à de multiples transformations comme le lait de vache. En effet, ses propriétés physico-chimiques le rendent difficilement coagulables, surtout si on utilise la présure bovine. Cette difficulté de coagulation « traditionnelle » a donc conduit les chercheurs à trouver une solution technologique, puis dans un second temps, de comprendre le comportement de la matrice « lait de chamelle » et son évolution sous l'effet de différents ferments. C'est cette histoire, au demeurant récente, que nous avons pour objectif de présenter ici.

1. Pourquoi le lait de chamelle ne coagule pas « traditionnellement » ?

La coagulation du lait est provoquée par l'hydrolyse enzymatique des liaisons protéiques au sein des micelles de caséines provoquant une agrégation de ces micelles conduisant à la formation d'un caillé. Or, si la nature des caséines du lait de chamelle est comparable à celle du lait de vache, les proportions des différentes caséines ne sont pas les mêmes (tableau 1).

Tableau 1. Proportion des différentes caséines du lait de vache et du lait de chamelle (dromadaire et Bactriane)

;;;

Espèce	κ -caséine	α_{s1} -caséine	α_{s2} -caséine	β -caséine	References
Bactriane	3,1	36,1	7,1	53,7	Ryskaliyeva et al., 2018
Dromadaire	3,6	37,4	5,8	53,2	
Vache	15	40	5	40	McMahon et Brown, 1984
Chèvre	13	38	11	38	Boulanger et al., 1984

Sa faible concentration en caséine- κ serait la principale explication (3-4% seulement contre 13-15% dans le lait de vache selon Kappeler et al., 2003) des difficultés de coagulation du lait de chamelle. Par ailleurs, la chymosine bovine (principale enzyme de la présure) utilisée dans l'industrie laitière ne permet pas de dénaturer les micelles de caséines du lait de chamelle de façon optimale, conduisant à un caillé de mauvaise tenue.

2. Un premier enjeu : obtenir un bon caillé

Les difficultés de coagulation du lait de chamelle expliquent pourquoi la plupart des recherches depuis les années 80 se sont concentrées sur l'amélioration de l'obtention d'un coagulum, et pourquoi la fabrication de fromage de chamelle est restée purement expérimentale. Les premiers essais en laboratoire ont mis en évidence les difficultés de coagulation avec l'utilisation de la présure bovine (Farah and Bachmann, 1987). Les premiers travaux d'ampleur sur l'aptitude fromagère du lait de chamelle sont le fait de J.P. Ramet, professeur à l'ENSAIA de Nancy (Ramet, 1989). La présure utilisée était celle du veau associée à une préparation coagulante issue d'une moisissure classiquement utilisée

dans l'industrie laitière *Rhizomucor miehei*, et enrichis de chlorure et de phosphate de calcium. Mais la quantité de présure devait être 4 fois plus importante que pour la même quantité de lait de vache, et le coagulum obtenu s'avérait fragile et friable, la mise directe en moules quasi-impossible du fait des pertes importantes de caillé. Au final, le rendement fromager s'avérait faible (5-7% selon les types de fromage) avec une perte 3 fois plus importante de matière grasse que dans le lait de vache, ce qui conduisit à des produits peu onctueux en bouche (Ramet, 1989). Les autres essais réalisés ailleurs à la même époque donnèrent des résultats similaires (Mehaia, 1993) : faible rendement, perte de matière grasse dans le lactosérum, plus faible acceptabilité des consommateurs. Les travaux de J.P. Ramet ont cependant débouché sur la commercialisation d'une préparation à base de présure bovine sous le nom commercial de Camifloc®, utilisée par divers chercheurs (Ramet, 2001 ; Zubeir and Jabreel, 2008 ; Nada and Ibtisam, 2011). Et de fait, à l'exception du fromage Caravane® de la laiterie Tiviski en Mauritanie (Abeiderrahmane, 1997) et de quelques essais dans le cadre de projets de développement (Faye et Vias, 2004), le Camifloc® a été peu utilisé.

D'autres coagulants ont été testés par divers auteurs. Citons les essais à partir d'extraits de gingembre (*Zingiber officinale*) en Ethiopie (Hailu et al. 2014), l'acide citrique à différentes concentrations en Inde (Mal et al., 2010) ou des extraits d'abomasum de chamelon (Boudjenah-Haroun et al. 2011). Mais les questions de rendement et de qualités organoleptiques demeuraient.

La solution pour obtenir un bon caillé allait être trouvée à la suite des travaux de Kappeler et al. (2006) en Suisse. En introduisant le gène de synthèse de la chymosine cameline dans une moisissure (*Aspergillus niger*), il a été possible d'obtenir un enzyme recombinant spécifique pour le lait de chamelle, ayant de bien meilleures propriétés coagulantes. Cet enzyme recombinant a pu être produit à l'échelle industrielle et commercialisé dès 2008 sous le nom commercial de Chymax-M1000® par Ch. Hansen©. Dès lors, le rendement fromager pouvait se comparer à celui obtenu avec du lait de vache ou de petits ruminants et la qualité du coagulum mieux compatible avec une transformation fromagère de qualité. Pour autant, même si l'hypothèque de la coagulation du lait de chamelle était enfin levée, était-on capable de faire de « bons » fromages de chamelle répondant aux goûts des consommateurs ?

3. Un second enjeu : quel fromage pour quels consommateurs ?

Le problème est que dans la plupart des cas, la fabrication du fromage de chamelle a été jusqu'à présent conçu par des chercheurs dans leur laboratoire (Ahmed and El-Zubeir, 2011 ; Mohamed et al. 2013) plutôt que par des techniciens fromagers professionnels à l'échelle artisanale ou industrielle à quelques exceptions près (Jones-Abeiderrahmane, 2013). Le défi désormais pour l'industrie laitière cameline et les chercheurs est donc de définir les technologies adaptées pour une transformation fromagère à grande échelle d'une matrice protéo-lipidique (le lait de chamelle) dont le comportement diffère amplement des laits classiquement utilisés dans la fabrication des fromages. En effet, si différents paramètres technologiques ont été testés pour fabriquer par exemple des fromages de type gruyère (Konuspayeva et al., 2012), mozzarella (Konuspayeva et al., 2014), feta et halloumi (Konuspayeva et al., 2016), mais le produit final s'est avéré différent de ce qu'on pouvait espérer.

Il importe donc aujourd'hui aux chercheurs et aux développeurs de s'engager à la fois sur les questions du comportement de la matrice « lait de chamelle », de l'adaptation aux goûts des consommateurs et de la diffusion des technologies de fabrication du lait de chamelle.

3.1. Comprendre le « comportement » du lait de chamelle

La coagulation n'est qu'une étape de la transformation fromagère. Les processus d'acidification, d'égouttage, d'affinage et les éventuels traitements thermiques nécessitent également des investigations approfondies pour comprendre le comportement du lait de chamelle lors des différentes étapes conduisant du lait liquide au fromage. Les études rhéologiques sur le lait de chamelle sont encore relativement peu fréquentes et très récentes (Shahein et al., 2014 ; Hailu et al., 2016 ; Ayyash et al., 2018). Peu de types de ferments lactiques ont été testés et se sont essentiellement des ferments utilisés pour le lait de vache. Des travaux sur l'identification d'une flore lactique spécifique au lait de chamelle ont été menés (Akhmetsadykova et al., 2015), mais leur utilisation potentielle pour la fabrication de fromages présentant une typicité liée à la nature de ce lait n'a pas encore été explorée. L'une des difficultés technologiques liée au lait de chamelle est sa lenteur d'acidification (10 heures pour décroître de pH 6,6 à 5) comparé au lait de vache (Farah et Bachmann, 1997, Konuspayeva et al., 2014). Il convient donc d'utiliser des ferments permettant une acidification rapide permettant de renforcer le gel. L'impact du stade de lactation a été évalué, ce qui a permis de donner 25 jours post-partum comme limite minimum à partir de laquelle le lait de chamelle peut coaguler de façon optimale. Par ailleurs, l'utilisation de la chymosine caméline ne nécessite pas d'ajouter du phosphate ou du chlorure de calcium, car aucune effet n'a pu être observé (Konuspayeva et al., 2014).

A notre connaissance, aucune analyse non plus des composés organiques volatiles responsables des arômes n'a été entreprise pour le fromage de chamelle. Il y a donc de nombreux champs d'investigation à mettre en œuvre par la recherche.

3.2. Des produits répondant aux besoins des consommateurs

Dans nos essais réalisés en Arabie Saoudite (Konuspayeva et al., 2012, 2014 et 2016) comme dans les productions proposées en Mauritanie (Jones-Abeiderrhamane, 2013), la tentation était grande de fabriquer des fromages « ressemblant » au plus près des fromages de vache connus. C'est ainsi que les essais ont tenté de reproduire du camembert, du gruyère ou du Saint-Paulin avec du lait de chamelle. Non seulement le résultat s'est avéré décevant du fait des propriétés spécifiques du lait de chamelle comme évoqué ci-dessus, mais surtout de l'acceptation de ces produits par les consommateurs locaux peu habitués à consommer des fromages « typés » comme l'aiment par exemple, les amateurs du sud de l'Europe. L'orientation s'est donc faite vers des fromages au goût assez neutre (type feta ou halloumi) ne demandant pas ou peu d'affinage et plus proches des habitudes de consommation dans les pays d'élevage camelin, notamment au Moyen-Orient, où les fromages à succès se rapprochent plus des pâtes fondues (type « vache-quirrit ») que des fromages de caractère qui font la réputation de certaines régions d'Europe. Cependant, il existe encore peu de travaux sur l'analyse sensorielle des fromages de chamelle et les quelques publications s'appuient sur des panels de dégustateurs peu habitués à la consommation de fromage (Konuspayeva et al., 2016).

3.3. Développement industriel

La fabrication du lait de chamelle n'est pour l'instant pas sortie de sa marginalité et peu d'initiatives ont vu le jour en dehors des essais de laboratoire. La laiterie Tiviski en Mauritanie, pionnière en la matière, produit son fromage à la demande du fait de l'étroitesse de son marché intérieur et de ses difficultés à exporter (Jones-Abeiderrhamane, 2013). Le fromage fabriqué dans la ferme *Camelicious* à Dubaï s'appuie sur une technologie traditionnelle de caillage acide (utilisant le jus de citron) aux résultats organoleptiques peu convaincants. Au Maroc, en Egypte ou en Tunisie, la commercialisation de fromages frais est restée confidentielle et les produits proposés sont de qualité variable. En Arabie Saoudite, bien que des essais en laiterie industrielle aient été menés, le développement est resté limité. La diffusion du fromage de chamelle se heurte en effet à plusieurs écueils. Au-delà des difficultés technologiques évoqués, la qualité hygiénique du lait utilisé pour la transformation fromagère demeure une contrainte importante d'autant que l'utilisation d'un lait de chamelle pasteurisé conduit à des difficultés de coagulation, ce qui fait préférer le lait cru. De ce point de vue, la fabrication d'halloumi est une alternative intéressante, non seulement parce qu'il correspond à un produit connu des consommateurs du Moyen-Orient, mais parce que dans la phase finale de la transformation fromagère, le produit subit un traitement thermique (Konuspayeva et al., 2016). Mais la principale difficulté est sans doute économique. Le prix du lait de chamelle est élevé, souvent 2 à 3 fois plus que le lait de vache. Même avec des rendements fromagers désormais comparables à celui des autres laits, le coût de la matière première contribue à renchérir considérablement le fromage de chamelle. A l'exception des pays du Golfe, les producteurs de lait de chamelle vivent dans des régions souvent pauvres ou plus ou moins marginalisées. Le fromage de chamelle demeure donc presque un produit de luxe, abordable qu'avec un conditionnement de faible poids. Par ailleurs, son exportation vers les pays du Nord se heurte aux barrières sanitaires comme le montre l'exemple de la laiterie Tiviski.

Conclusion

Si le fromage fabriqué à partir du lait de vache ou de brebis peut se prévaloir d'une expérience de plusieurs millénaires, le fromage de chamelle n'en est qu'aux prémices de son histoire et de son développement. Mais pour ce faire, si des progrès technologiques récents ont été faits, il importe aujourd'hui de combler les lacunes sur la connaissance des processus lors de la transformation fromagère afin de mieux répondre aux demandes tant culturelles que financières des consommateurs. « L'exotisme » du produit ne suffira en effet pas à en assurer son développement.

Références

- Abeiderrahmane N., 1997. Camel milk and modern industry. J. Camel Pract. Res., 4(2), 223-228
- Ahmed N.A.A., El-Zubeir E.M., 2011. Effect of salt level on some physical and chemical properties and acceptability of camel milk cheese. J. Camelid Sci., 4, 40-48
- Ayyash M., Abu-Jdayil B., Hamed F., Shaker R., 2018. Rheological, textural, microstructural and sensory impact of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* isolated from camel milk on low-fat akawi cheese. LWT, 87, 423-431

- Akhmetsadykova Sh., Baubekova A., Konuspayeva G., Akhmetsadykov N., Akhmetsadykov N., Faye B., Loiseau G., 2015. Lactic acid bacteria biodiversity in raw and fermented camel milk. *African J. Food Sci. Technol.*, 6(3), 84-88
- Boudjenah-Haroun S., Laleye L., Mouliti-Mati F., Si Ahmed S., Mahboub N., Siboukeur O.E., Mati A., 2011. Comparative study of milk clotting activity of crude gastric enzymes extracted from camels' abomasum at different ages and commercial enzymes (rennet and pepsin) on bovine and camel milk. *Emir. J. Food Agric.*, 23, 301-310
- Boulanger A., Grosclaude F., Mahé M.F., 1984. Polymorphisme des caséines α 1 et α 2 de la chèvre (*Capra hircus*). *Genet. Sel. Evol.*, 16(2), 157-176
- El-Zubeir I.E.M., Jabreel S.O., 2008. Fresh cheese from camel milk coagulated with Camifloc. *Int. J. Dairy Technol.*, 61, 90-95
- Farah Z., Bachmann M.R., 1987. Rennet coagulation properties of camel milk. *Milchwissenschaft*, 42, 689-692
- Faye B., Vias G., 2004. Scientific support of the camel sub-sector development project in Niger. *Proc. Intl. Conf. on « Saving the camel and peoples' livelihood »*, LPPS Publ., Sadri (Inde), 23-25/11/04, 64-70.
- Hailu Y., Seifu E., Yilma Z., 2014. Physicochemical properties and consumer acceptability of soft unripened cheese made from camel milk using crude extract of ginger (*Zingiber officinale*) as coagulant. *African J. Food Sci.*, 8, 87-91
- Hailu Y., Hansen E.B., Seifu E., Eshetu M., Ipsena R., 2016. Factors influencing the gelation and rennetability of camel milk using camel chymosin. *Int. Dairy J.*, 60, 62-69
- Jones-Abeiderrahmane N., 2013. Camel cheese: seemed like a good idea. *Publ Nancy Jones-Abeiderrahmane, Nouakchott, Mauritania*, 387 p
- Mc Mahon D. J., Brown R. J., 1984. Composition, structure and integrity of casein micelles: a review. *J. Dairy Sci.*, 67, 499-512
- Kappeler S., Farah Z., Puhan Z., 2003. 5'-Flanking regions of camel milk genes are highly similar to homologue regions of other species and can be divided into two distinct groups. *J. Dairy Sci.*, 86, 498-508
- Kappeler S.R., Van den Brink H.J., Rahbek-Nielsen H., Farah Z., Puhan Z., Hansen E.B., Johansen E., 2006. Characterizations of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Bioch. Biophys. Res. Comm.*, 342, 647-654
- Konuspayeva G., Faye B., Baubekova A., Loiseau G., 2012. Camel gruyere cheese making. *Proc. 3rd ISOCARD conference (E.H. Johnson et al., Eds)*, 29th January -1st February 2012, Mascate (Sultanate of Oman), 218-219
- Konuspayeva G., Camier B., Gaucheron F., Faye B., 2014. Some parameters to process camel milk into cheese. *Emir. J. Food Agric.*, 26(4), 354-358
- Konuspayeva G., Camier B., Aleilawi N., Al-Shumeimyri M., Al-Hammad K., Algruin K., Alshammari F., Beaucher E., Faye B., 2016. Manufacture of dry- and brine-salted soft camel cheeses for the camel dairy industry. *Intl. J. Dairy Technol.*, 70(1), 92-101,
- Mal G., Bjakhat C., Suchitra Sena D., Pathak K.M.L., 2010. Effect of coagulants on preparation of camel milk paneer. *J. Camel Pract. Res.*, 17(2), 181-184
- Mehaia M.A., 1993. Fresh soft white cheese (Domiaty-type) from camel milk: composition yield and sensory evaluation. *J. Dairy Sci.*, 76, 2845-2855
- Mohamed A.E., Babiker I.A., Mohamed T.E., 2013. Preparation of fresh soft cheese from dromedary camel milk using acid and heat method. *Res. Opinions Anim. Vet. Sci.*, 3, 289-292

- Nada A.A., Ibtisam E.M.E, 2011. Effect of salt level on some physical and chemical properties and acceptability of camel milk cheese. J. Camelids Sci., 4, 40-48
- Ramet J.P., 1989. L'aptitude fromagère du lait de dromadaire. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop., 42(1), 105-111
- Ramet J.P., 2001. The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*). Animal production and health paper n°113, FAO, Rome, Italy, 64 pp.
- Ryskaliyeva A., Henry C., Miranda G., Faye B., Konuspayeva G., Martin P., 2018. Combining different proteomic approaches to resolve complexity of the milk protein fraction of dromedary, Bactrian camels and hybrids, from different regions of Kazakhstan. PLoS ONE 13(5): e0197026.
- Shahein M.R., Hassanein A.M., Zayan A.F., 2014. Evaluation of soft cheese manufactured from camel and buffalo milk. World J. Dairy Food Sci., 9 (2),213-219